

POCZĄTKI MIKROPROCESORÓW – OD TAJNYCH ZASTOSOWAŃ WOJSKOWYCH DO REWOLUCJI INFORMATYCZNEJ

Jacek NOWICKI

Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Biuro SEP, Warszawa
tel.: 533 333 665 e-mail: jacek.nowicki@sep.com.pl

Streszczenie: Korzenie współczesnej rewolucji informatycznej spowodowanej wprowadzeniem i rozpowszechnieniem mikrokomputerów w latach osiemdziesiątych XX wieku tkwią głęboko w poprzedniej dekadzie lat siedemdziesiątych. W 1971 r. w Stanach Zjednoczonych wprowadzono na rynek pierwszy mikroprocesor Intel 4004 w formie pojedynczego układu scalonego bazującego na technologii tranzystorów MOS. Ten 4-bitowy¹ układ poprzedziło skonstruowanie w latach 1968-70 znacznie doskonalszych, 20-bitowych układów elektronicznych przeznaczonych dla komputera systemu sterowania lotem CADC (ang. *Central Air Data Computer*) firmy Garrett AiResearch. Komputer ten zbudowano specjalnie dla samolotu myśliwskiego o zmiennej geometrii skrzydeł Grumman F-14 Tomcat. Jednak wszelkie informacje na temat CADC zostały objęte klauzulą tajemnicy wojskowej przez Marynarkę Wojenną Stanów Zjednoczonych – głównego użytkownika samolotów F-14, zdjętej dopiero w 1998 r. i dlatego nie są powszechnie znane i pamiętane. Tymczasem komercyjne mikroprocesory 4-bitowe ustąpiły miejsca kilku typom mikroprocesorów 8-bitowych, z których Zilog Z80 i MOS Technology 6510 umożliwiły na początku lat 1980-tych skonstruowanie pierwszych, powszechnie dostępnych mikrokomputerów domowych: w tym m.in. ZX Spectrum i Commodore C64. Powstałe w tym samym okresie 16-bitowe procesory Intel 8088 (1979 r.) wykorzystano w konstrukcji mikrokomputerów IBM PC, od których rozpoczęła się lawinowa komputeryzacja niemal wszystkich dziedzin działalności współczesnych społeczeństw.

Słowa kluczowe: historia mikroprocesorów, historia mikrokomputerów.

1. WSTĘP

Historia mikroprocesorów, powstałych na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych w Stanach Zjednoczonych ma swe początki w tajnych programach wojskowych. Bardzo szybko jednak układy te pojawiły się na rynku cywilnym, początkowo wykorzystywane do konstruowania kalkulatorów a następnie coraz doskonalszych komputerów. Produkcja seryjna pierwszych układów mikroprocesorowych podjęta została najpierw w amerykańskiej „Krzemowej Dolinie” w Kalifornii, jednak szybko zaczęła się ona rozpowszechniać także w Japonii, na Tajwanie, w Korei Południowej, Malezji i innych krajach Dalekiego Wschodu.

¹ Architektura 4-bitowa – architektura procesora, w której główne przetwarzanie (przesyłanie i arytmetyka) i przechowywanie danych odbywa się przy wykorzystaniu słowa 4-bitowego. Analogicznie mówimy o procesorach 8-bitowych, 16-bitowych, 20-bitowych, 32-bitowych, etc.

2. MP944 – „ZAPOMNIANY” PIERWSZY MIKROPROCESOR

W czasach zimnej wojny wiele spośród rozwiązań technicznych i wynalazków było specjalnie utajnianych. Stany Zjednoczone przez wiele dziesięcioleci prowadziły w wyścigu technologicznym z ówczesnym ZSRR. Jednym z wynalazków, powstałych na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych stał się mikroprocesory – skonstruowane pierwotnie dla zastosowań wojskowych. W około dekady później mikroprocesory i skonstruowane z ich wykorzystaniem mikrokomputery utorowały drogę dla rewolucji informatycznej, która, jak widać to z perspektywy trzeciego dziesięciolecia XXI wieku, na zawsze zmieniła życie społeczeństw ludzkich na całym świecie.

Przez wiele lat za pierwszy mikroprocesor uważany był układ scalony typu 4004 wprowadzony na rynek przez firmę Intel w 1971 r. Tymczasem znacznie doskonalsze od 4004 układy powstały już ponad rok wcześniej, jednak fakt ten pozostał utajniony przez kolejne trzy dekady - niemalże do końca XX wieku [5].



Rys. 1. Samolot myśliwski Grumman F-14 Tomcat wyposażony w mikroprocesorowy system sterowania CADC (fot. US Navy, domena publiczna, licencja Commons)

W drugiej połowie lat sześćdziesiątych amerykańska firma lotnicza Grumman przystąpiła do konstruowania nowego myśliwca dla Marynarki Wojennej Stanów Zjednoczonych. Grumman zdobył sobie renomę dostawcy samolotów bojowych dla lotnictwa pokładowego US Navy już przed II wojną światową a podczas jej trwania znakomite

„Wildcaty” i „Hellcaty” okryły się sławą bojową nad bezkresnym Pacyfikiem tocząc zwycięskie walki z samolotami Cesarskiej Japońskiej Marynarki Wojennej. W okresie powojennym Grumman ugruntował swą pozycję producenta samolotów bojowych wchodząc jednocześnie w nowe obszary takie jak technika kosmiczna. To właśnie w zakładach Grummana powstał lądownik księżycowy LM (Lunar Module), który zawiózł pierwszych astronautów na powierzchnię Księżyca.

W styczniu 1968 r. Grumman otrzymał zamówienie na skonstruowanie makiety i wyprodukowanie samolotu pokładowego wg specyfikacji US Navy i dostarczenie próbnej serii 12 maszyn, które otrzymały oznaczenie F-14A i nazwę „Tomcat” (patrz rys. 1). Zgodnie z najmodniejszą wówczas tendencją projektową samolot miał otrzymać skrzydła o zmiennej geometrii – tj. regulowanym kącie skosu płatów od 20 do 68 stopni (przekładało się to na możliwość zmiany rozpiętości skrzydeł w locie od 18,89 m do 11,63 m).

Konstruktorzy Grummana postanowili, że złożonym układem zmiany skosu skrzydeł sterować będzie elektroniczny system cyfrowy w zupełnie nowej technologii układów scalonych o wysokim stopniu integracji. Była to decyzja odważna – powstały zaledwie kilka lat wcześniej inny wielozadaniowy amerykański samolot bojowy General Dynamics F-111 został wyposażony w układ bazujący całkowicie na urządzeniach elektromechanicznych analogowych złożonych m.in. z systemu współpracujących ze sobą kół zębatych i krzywek.

W roku 1968 prawie wszystkie układy scalone produkowane w USA wykorzystywały tranzystory bipolarne – około 100-krotnie szybsze od wczesnych tranzystorów unipolarnych MOS, lecz wymagające do zasilania znacznie więcej energii i więcej miejsca na płycie krzemowej wewnątrz obwodu scalonego. Trudniejszy technologicznie był również proces produkcji. Konkurencyjna technologia tranzystorów unipolarnych MOS (ang. *Metal-Oxide-Semiconductor*) była dość obiecująca ale wciąż jeszcze dość wczesnym etapie rozwoju.

Jednak to właśnie zestaw układów scalonych zbudowanych na bazie technologii tranzystorów MOS pełnił rolę centralnego komputera danych sterowania lotem – CADC (ang. *Central Air Data Computer*). CADC otrzymywał dane z pięciu źródeł: statycznego czujnika ciśnienia, dynamicznego czujnika ciśnienia, analogowych informacji z układu sterowania, czujnika temperatury i cyfrowego przełącznika układu sterowanego przez pilota. Informacje wyjściowe dotyczyły ustawienia części skrzydeł o regulowanym skosie, wychylenia 3-segmentowych klap i 4-segmentowych przerywaczy. CADC dostarczał miał również danych dla czterech wskaźników na tablicy przyrządów pilota dostarczających informacji o liczbie Macha, wysokości prędkości poziomej i prędkości pionowej lotu. System od początku zaprojektowano jako redundantny – zdwojony dla wzajemnego rezerwowania, w przypadku awarii jednej z jego części.

Komputer CADC myśliwca F-14A współpracował z czujnikami kwarcowymi, 20-bitowymi przetwornikami analogowo-cyfrowymi i cyfrowo-analogowymi. Otrzymał on również bardzo wydajny i niezawodny zasilacz. [4, 5]

Układy scalone dla komputera CADC samolotu F-14A został zaprojektowany i przygotowany do produkcji seryjnej w latach 1968-1970. Jego twórcami byli dwaj inżynierowie: Steve Geller i Ray Holt (patrz rys. 2) pracujący w zespole projektowym firmy Garrett AiResearch Corporation na

zlecenie zakładów lotniczych Grummana. Układy scalone pod oznaczeniem MP944 zostały wyprodukowane przez firmę American Microsystems, Inc. w Santa Clara w Kalifornii. W skład zespołu firm Garrett i American Microsystems wchodziło łącznie 25 elektroników i programistów.

MP944 stał się pierwszym na świecie zintegrowanym układem mikroprocesorowym, pierwszym mikroprocesorem dla zastosowań wojskowych, pierwszym mikroprocesorem produkowanym seryjnie, pierwszym lotniczym układem sterowania przewodowego *fly-by-wire*, pierwszym mikroprocesorem 20-bitowym, pierwszym mikroprocesorem z wbudowanym układem autotestowania i redundancji, pierwszym mikroprocesorem z równoległym przetwarzaniem danych oraz pierwszym mikroprocesorem ze zintegrowanym koprocesorem matematycznym i pierwszym mikroprocesorem z potokiem wykonania. Po raz pierwszy również zastosowano pamięć tylko do odczytu (ROM) z wbudowanym licznikiem danych. Pod każdym względem stanowił on „skok” technologiczny wyprzedzający swą epokę o wiele lat.

Prototyp samolotu F-14A wzbił się w powietrze po raz pierwszy 21 grudnia 1970 r. Maszyna okazała się wyjątkowo udana na wiele lat stając się podstawą wyposażenia dywizjonów myśliwskich bazowanych na pokładach amerykańskich lotniskowców. Amerykanie zdążyli go użyć bojowo w ostatnich dniach wojny wietnamskiej (podczas ewakuacji Sajgonu wiosną 1975 r.) a następnie w starciach zbrojnych z Libią i Irakiem w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych. Jedynym użytkownikiem eksportowym F-14 stały się siły powietrzne Iranu, który jeszcze w latach przed rewolucją islamską (1979 r.) zakupił kilkadziesiąt egzemplarzy użytych bojowo w wojnie z Irakiem.



Rys. 2. Ray Holt – jeden z „zapomnianych” twórców pierwszego na świecie systemu mikroprocesorowego komputera CADC [fot. youtube.com]

Niestety ważność wynalazku, stanowiącego však część jednego z istotnych systemów uzbrojenia sił morskich USA, zadecydowała o jego utajnieniu. Jeden z twórców MP944 a tym samym CADC – inżynier Ray Holt próbował opublikować artykuł na temat tego osiągnięcia w czasopiśmie „Computer Design” już w 1971 r. jednak okazało się to niemożliwe na skutek braku zgody US Navy. Pozwolenia na publikację nie udało mu się uzyskać „przy

drugim podejściu” w 1985 r. czyli 14 lat później w czasach prezydentury Ronalda Reagana, na rok przed wejściem na ekrany filmu „Top Gun” z Tomem Cruisem w roli głównej, grającym rolę pilota latającego właśnie na myśliwcu F-14 „Tomcat”.

Ostatecznie zgoda na opublikowanie szczegółów rozwiązania technicznego pierwszego na świecie mikroprocesora udzielona została dopiero w kwietniu 1998 r. Pierwszej prezentacji układu MP944 użytego w komputerze CACD Ray Holt dokonał na podczas wydarzenia Vintage Computer Festival odbywającego się w Santa Clara Convention Center w dniach 26-27 września 1998 r. a zatem aż trzydzieści lat po rozpoczęciu pierwszych prac nad tym innowacyjnym rozwiązaniem.

3. INTEL 4004 – PIERWSZY MIKROPROCESOR NA RYNKU KOMERCYJNYM

Opisany powyżej wojskowy mikroprocesor na skutek swego utajnienia pozostał na zawsze jedną częścią samolotu F-14, bez żadnej aplikacji w świecie „cywilnym”. Inny los pisany był pierwszym mikroprocesorom Intel 4004 wprowadzonym na rynek komercyjny niedługo później przez firmę Intel.

O ile zestaw dwudziestobitowych układów scalonych powstały w laboratorium Garretta miał, trudną dziś nawet do oszacowania, bardzo wysoką cenę charakterystyczną dla komponentów przeznaczonych do zastosowania w sprzęcie wojskowym, o tyle jednoukładowy mikroprocesor 4004 kosztował zaledwie... 60 dolarów, co otwierało drogę do licznych aplikacji w świecie elektroniki użytkowej.

Projektowanie układu bazującego na technologii bramki krzemowej MOS rozpoczęło się w kwietniu 1970 r. pod kierunkiem Federico Faggina (ur. w 1941 r.) – patrz rys. 3. Projekt bazował na stworzonej w ciągu poprzedniego roku koncepcji architektury układu scalonego autorstwa Marciana Hoffa. Firma Intel otrzymała zamówienie z japońskiej firmy Busicom na procesor i inne układy scalone (oznaczone wspólnie jako rodzina 4000) dla kalkulatora inżynierskiego wyposażonego w zintegrowaną drukarkę. Faggin został specjalnie sprowadzony do Intelu z firmy Fairchild Semiconductor, gdzie zasłynął jako ekspert w dziedzinie technologii bramki krzemowej. Rozwiązanie to skutecznie zastąpiło bramkę tranzystora MOS z aluminium bramką z polikrystalicznego krzemu.



Rys. 3. Federico Faggin – współtwórca mikroprocesora Intel 4004 (fot. <https://alchetron.com/Federico-Faggin>)

Program układów rodziny 4000 był solidnie opóźniony, gdy do zakładów Intelu przybył inżynier Masatoshi Shima, reprezentujący zamawiającego – japońską firmę Busicom. Stwierdziwszy znaczne opóźnienie projektu, którym już od pewnego czasu kierował Federico Faggin, próbujący ratować walący się harmonogram prac. Shima postanowił pomóc Fagginowi i zamiast wracać do Japonii sam włączył się do prac nad układem 4004 wywierając istotny wpływ zarówno na architekturę jaki i logikę działania układu.

Największym osiągnięciem projektu 4004 było zmieszczenie kompletnej jednostki mikroprocesora w pojedynczym układzie scalonym przeznaczonym do sprzedaży na rynku komercyjnym. Wewnątrz układu znalazło się 2300 tranzystorów pracujących 5-krotnie szybciej z 2-krotnie większym upakowaniem w porównaniu do układów w dotychczasowej technologii tranzystorów z bramką metalową (aluminium) – patrz rys. 4 i 5. Podobne rozwiązanie wprowadził on dwa lata wcześniej (1968 r.) wspólnie z Tomem Kleinem w firmie Fairchild Semiconductors podczas prac nad układem scalonym 3708. Podczas pracy nad mikroprocesorem 4004 Faggin wykorzystał dwa nowe, autorskie rozwiązania: tzw. zagrzebany styk (ang. *buried contact*) i obciążenie bootstrap (ang. *bootstrap load*). Technologia zagrzebanego styku polegała na stworzeniu bezpośredniego styku elektrycznego pomiędzy materiałem bramki z polikrystalicznego krzemu a złączami w układach o bramce krzemowej. Metoda ta wymagała użycia dodatkowej warstwy maskującej. Dzięki temu możliwe stało się wykorzystanie polikrystalicznego krzemu jako dodatkowej warstwy połączeń, co w znacznym stopniu poprawiło gęstość upakowania elementów. Z kolei zastosowanie *bootstrap load* pozwalało budować bramki logiczne o napięciu wyjściowym równym napięciu zasilania, co wymagało jednak użycia w strukturze układu scalonego dobrej jakości kondensatorów.” Ostatecznie dzięki tym technologiom udało się uzyskać jakościową zmianę w zakresie prędkości działania, mocy obliczeniowej i ceny układu [1-3, 6].

Produkcja mikroprocesorów 4004 ruszyła w pierwszych miesiącach 1971 r. wraz z dostawami dla firmy Busicom. Już w listopadzie 1971 r. Intel rozpoczął ogólnie dostępną sprzedaż mikroprocesorów typu 4004 wprowadzając je na rynek wraz z hasłem marketingowym: „*Announcing a new era in integrated electronics*” – „Zapowiadamy nową erę w elektronice zintegrowanej”.



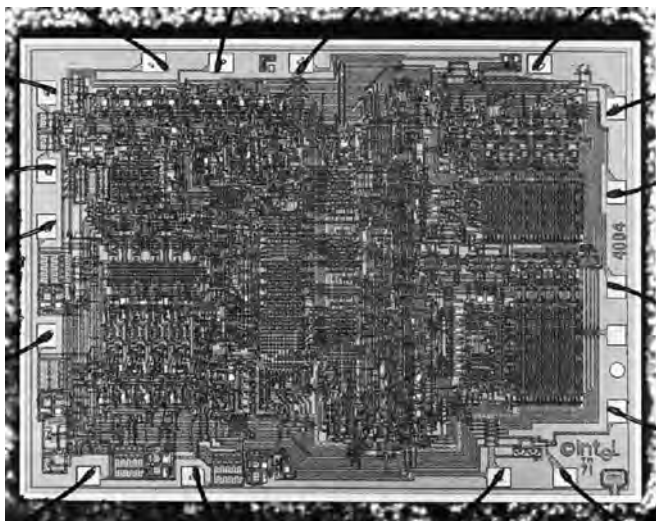
Rys. 4. Wygląd zewnętrzny mikroprocesora Intel 4004 (fot. Intel Free Pictures; <https://www.purepc.pl/>)

Cztery układy scalone produkcji Intelu: mikroprocesor 4004, pamięć tylko do odczytu (ROM) 4001 ROM, pamięć o dostępie swobodnym RAM (4002) RAM oraz rejestr przesuwany (4003) stworzyły wspólnie układ scalony Intel MCS-4. Potencjalni projektanci i producenci mogli skorzystać z tej oferty tworząc względnie tanie

mikrokomputery o dość elastycznej architekturze w zakresie np. pojemności pamięci jak i podłączonych do nich urządzeń peryferyjnych.

4. PROCESORY 8-BITOWE I 16-BITOWE

Już w kwietniu 1972 r. firma Intel wprowadziła na rynek układ, który stał się zapowiedzią dalszych dynamicznych zmian w świecie mikroelektroniki. Był nim 8-bitowy mikroprocesor 8008 zaprojektowany pierwotnie na zamówienie firmy Computer Terminal Corporation (CTC). Miał on zostać wykorzystany w budowie terminala Datapoint 2200 ale ze względu na opóźnienia w dostawie i nie spełnienie oczekiwanych wymagań został odrzucony. Firma CTC udzieliła Intelowi zgody na sprzedaż procesora do innych odbiorców. Wyprowadzona na zewnątrz procesora ośmiobitowa szyna danych 8008 pełniła rolę szyny danych i adresowej. 8008 był zdolny do wykonywania mniejszej liczby operacji na sekundę od swego czterobitowego poprzednika 4004 ale dzięki temu, że przetwarzał słowa 8 bitowe i dysponował dostępem do większej ilości pamięci RAM miał ostatecznie 3 do 4 razy większą moc obliczeniową od procesorów 4-bitowych. Architektura procesora 8008 znacznie utrudniała użycie go jako uniwersalnego „serca” mikrokomputerów, ze względu na silne zorientowanie jej na zaplanowane pierwotnie zastosowanie jej w terminalu CTC.



Rys. 5. Struktura wewnętrzna mikroprocesora Intel 4004 (fot. Intel Free Pictures; <https://www.purepc.pl/>)

Wad tych pozbawiony był w dużym stopniu jego następca: Intel 8080, wprowadzony na rynek na wiosnę 1974 roku. Wykonany on został w technologii NMOS i pracował z częstotliwością taktowania 2 MHz. Został on wyposażony w 8-bitową szynę danych i 16-bitową szynę adresową. Układ 8080 wymagał zasilania napięciem 12 V i +/-5V. Co ciekawe konstrukcja 8080 została „sklonowana” w Polsce i stała się bazą dla powstania układu scalonego MCY7880 – jedynego mikroprocesora kiedykolwiek produkowanego w naszym kraju [7].

Tymczasem w połowie lat siedemdziesiątych Federico Faggin odszedł z firmy Intel by założyć własne przedsiębiorstwo pod nazwą Zilog. W nim to powstał kolejny przełomowy mikroprocesor oznaczony Z80, który na rynku pojawił się po raz pierwszy w latem 1976 r. o konstrukcji wywodzącej się z 8080 (zachowana została m.in. pełna wsteczna kompatybilność z 8080). Z80

wyposażony został w 8-bitową magistralę danych i 16-bitową magistralę adresową. Procesor miał możliwość zaadresowania 64 kB pamięci RAM i taktowany był zegarem o częstotliwości do 8 MHz. Z80 mógł współpracować z bogatą ofertą zewnętrznych układów przeznaczonych do współpracujący z jednostką centralną. Mikroprocesor Z80 na początku lat osiemdziesiątych stał się centralnym elementem licznych typów mikrokomputerów 8-bitowych, a w tym całej rodziny tych urządzeń produkcji brytyjskiej firmy Sinclair, które odegrały ogromną rolę w upowszechnieniu komputeryzacji w Polsce. Były to komputery ZX80, ZX81 i wreszcie ZX Spectrum wraz ze wszystkimi wersjami rozwojowymi.

Już w latach siedemdziesiątych firmom Intel i Zilog zaczęło przybywać konkurentów, wprowadzających coraz doskonalsze konstrukcje procesorów ośmiobitowych. Jedną z tych firm było przedsiębiorstwo MOS Technology założone przez zespół inżynierów zatrudnionych poprzednio w koncernie Motorola. Pod kierunkiem Chucka Peddle powstał tam w 1975 r. procesor 6502, będący w istocie uproszczoną, tańszą i szybszą wersją układu Motorola 6800, nad którym pracował on u poprzedniego pracodawcy. Mikroprocesor MOS 6502 wyposażony był w 8-bitową szynę danych i 16-bitową szynę adresową. Taktowany był zegarem o częstotliwości (zależnie od wersji) od 1 do 3 MHz. Został on wykorzystany m.in. wykorzystany w konstrukcji słynnych mikrokomputerów Apple II i Apple III a także Commodore PET i Commodore VIC-20. MOS 6502 stał się bazą dla opracowania kolejnego procesora: 6510, który wykorzystany został w konstrukcji prawdopodobnie najbardziej znanego i najbardziej rozpowszechnionego 8-bitowego mikrokomputera Commodore 64.

Warto tu wspomnieć również o 8-bitowym układzie scalonym Intel 8051. Wprowadzał on kolejny przełom w elektronice: otóż w pojedynczym układzie scalonym znalazł się cały mikrokomputer jednoukładowy, zawierający zarówno jednostkę centralną, pamięć RAM jak i układy wejścia-wyjścia. Powstał on w 1980 r. a jest produkowany (choć już nie przez Intela) i wykorzystywany do dnia dzisiejszego. Intel 8051 zbudowany został w oparciu o zmodyfikowaną architekturę harwardzką (architektura mieszana, łącząca w sobie cechy architektury harwardzkiej i architektury von Neumanna). Oddzielone zostały obszary pamięci na dane i rozkazy, lecz wykorzystują one wspólne magistrale: danych i adresową.

Koniec lat siedemdziesiątych zaznaczył się kolejnym etapem w rozwoju mikroprocesorów – wprowadzeniem 16-bitowej szyny danych. W 1978 r. skomercjalizowano 16-bitowy mikroprocesor Intel 8086, zaprojektowany w technologii 3-mikrometrowej HMOS (ang. *High performance MOS*). Stanowił od odpowiedzi Intela na rosnącą konkurencję ze strony firmy Zilog, której produkt – Z80 szybko zdobył uznanie rynku. Część z wersji rozwojowych 8086 była wykonywana w technologii CMOS (ang. *Complementary Metal Oxide Semiconductor*). Rok później – w 1979 r. Intel wprowadził na rynek wersję układu 8086 nazwaną 8088, będący jego uproszczoną wersją. Szerokość magistrali danych została zmniejszona do 8 bitów zaś kolejkę rozkazów skrócono z 6 do 4 bajtów. Mikroprocesor 8088 został wykorzystany w konstrukcji najsłynniejszego komputera osobistego wszechczasów – IBM PC wprowadzonego na rynek w 1981 r., który zapoczątkował masowe upowszechnienie mikrokomputerów zarówno w firmach

5. PODSUMOWANIE

Współczesne przełomowe dla rozwoju techniki wynalazki rzadko mogą zostać przypisane jednej osobie. Często stanowią one efekt wieloosobowych zespołów inżynierskich, działów badawczo-rozwojowych firm i korporacji, jednak nie bez udziału wyjątkowych, wybitnych indywidualności, takich jak Ray Holt czy Federico Faggin. Wprowadzenie mikroprocesorów w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku miało dla postępu ludzkości nie mniejsze znaczenie niż wynaleziona blisko 100 lat wcześniej żarówka Edisona.

Choć palma pierwszeństwa przypadła procesorom American Microsystems MP944 i Intel 4004, to za najbardziej przełomowe w dziedzinie rozwoju mikrokomputerów okazały się układy scalone Intel 8080, Zilog Z80 i MOS Technology 6510. To właśnie na nich opierała się konstrukcja pierwszych mikrokomputerów 8-bitowych, od których zaczęła się rewolucja informatyczna lat 1980-tych i które uTORowały drogę znacznie

doskonalszym konstrukcjom bazującym na architekturze 16-bitowej.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Faggin F., Klein T.: Silicon-Gate Technology. Solid State Electronics. Vol. 13 (1970). s. 1125–1144.
2. Faggin F.: The Bootstrap Load; <http://www.intel4004.com/btstrp.htm>; [dostęp 15-03-2022].
3. Faggin F.: The Buried Contact, <http://www.intel4004.com/buried.htm> [dostęp 15-03-2022]
4. Fallon S.: The Secret History of the First Microprocessor, the F-14, and Me. Wired. (December 23, 2020).
5. Ray Holt and the Origins of the Microchip Computer. theaccidentalengineer.com, [dostęp 15-03-2022].
6. Mikroprocesor INTEL 4004, https://eduinf.waw.pl/inf/hist/003_intel/0004.php [dostęp 15-03-2022].
7. Retrogram Hardware – Polak potrafił, czyli smutna historia Elwro – gram.pl, www.gram.pl; [dostęp 15-03-2022].

THE BEGINNINGS OF MICROPROCESSORS - FROM SECRET MILITARY APPLICATIONS TO THE INFORMATION TECHNOLOGIES REVOLUTION

The roots of the modern information revolution caused by the introduction and spread of microcomputers in the 1980s are deeply rooted in the previous decade of the 1970s. In 1971, the US introduced the first Intel 4004 microprocessor in the form of a single integrated circuit based on MOS transistor technology. This 4-bit chip was preceded by the construction of much more perfect 20-bit electronic circuits for the Garrett AiResearch CADC (Central Air Data Computer) flight computer in the years 1968-70. This computer was built specifically for the Grumman F-14 Tomcat variable wing geometry fighter. However, all information about CADC was classified as military secret by the US Navy - the main user of the F-14 aircraft, which was only decommissioned in 1998 and is therefore not widely known and remembered. Meanwhile, commercial 4-bit microprocessors gave way to several types of 8-bit microprocessors, of which the Zilog Z80 and MOS Technology 6510 made it possible in the early 1980s to construct the first, widely available home microcomputers: including ZX Spectrum and Commodore C64. The 16-bit Intel 8088 (1979) processors created in the same period were used in the construction of IBM PC microcomputers, which started the avalanche computerization of almost all areas activities of modern societies.

Keywords: history of microprocessors, history of microcomputers.